

TUGAS AKHIR

KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN *PIN FIN COOLING* SUSUNAN SEGARIS PADA TRAILING EDGES SUDU TURBIN GAS



Tugas Akhir Ini Disusun Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar
Sarjana S-1 Pada Jurusan Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Disusun oleh :

ADNAN ARIF FAISHAL

NIM : D200 110 079

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2016**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul : **“KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN *PIN FIN COOLING* SUSUNAN SEGARIS SEGARIS PADA TRAILING EDGES SUDU TURBIN GAS”** yang dibuat untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh derajat sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan/atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan dilingkungan Universitas Muhammadiyah Surakarta atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya saya cantumkan sebagaimana mestinya.

Surakarta, Februari 2016

Yang menyatakan,



Adnan Arif Faishal

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas Akhir yang berjudul **“KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN PIN FIN COOLING SUSUNAN SEGARIS SEGARIS PADA TRAILING EDGES SUDU TURBIN GAS”** telah disetujui pembimbing utama untuk diusulkan Topik Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan oleh :

Nama : Adnan Arif Faishal

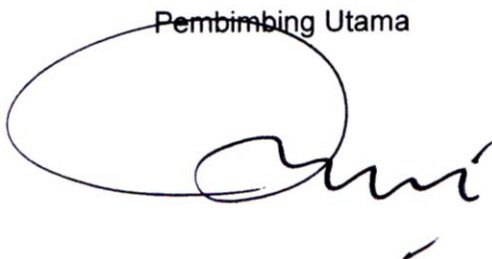
NIM : D 200 11 0079

Disetujui pada :

Hari : Selasa

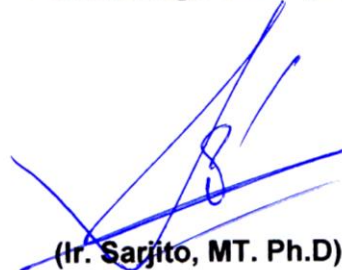
Tanggal : 2 Februari 2016

Pembimbing Utama



(Marwan Effendy, ST. MT. Ph.D)

Pembimbing Pendamping



(Ir. Sarjito, MT. Ph.D)

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul **“KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN *PIN FIN COOLING* SUSUNAN SEGARIS SEGARIS PADA TRAILING EDGES SUDU TURBIN GAS”** yang dipertahankan dihadapan dewan penguji dan disahkan sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan oleh :

Nama : Adnan Arif Faishal
NIM : D 200 11 0079

Disahkan pada :

Hari : Senin
Tanggal : 15 Februari 2016

Tim Penguji :

Ketua : **Marwan Effendy, ST. MT. Ph.D**

Anggota 1 : **Ir. Sarjito, MT. Ph.D**

Anggota 2 : **Patna Partono, ST. MT**

Mengetahui,



Dekan

(Ir. H. Sri Sunarjono, MT. Ph.D)

Ketua Jurusan

(Tri Widodo BR, ST. MSc. Ph.D)

LEMBAR SOAL TUGAS AKHIR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Berdasarkan surat Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
Nomor 167/A.3-II/TM/TA/V/2015. Tanggal 19 Mei 2015

dengan ini :

Nama : Marwan Effendy, Ph.D
Pangkat/Jabatan : Lektor Kepala
Kedudukan : Pembimbing Utama / Pembimbing Kedua *)
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
memberikan Soal Tugas Akhir kepada mahasiswa :

Nama : Adnan Arif Faishal
Nomor Induk : D 200 110 079
NIRM : -
Jurusan/Semester : Teknik Mesin / Akhir
Judul/Topik : KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN PIN FIN
COOLING SUSUNAN SEGARIS PADA TRAILING EDGE SUDU TURBIN GAS.
Rincian Soal/Tugas :
- Lakukan simulasi dengan fluent untuk pendekatan numeric pada topik tersebut.

Demikian soal tugas akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Surakarta, 19 Mei 2015

Pembimbing



Marwan Effendy, Ph.D

Keterangan :

*) Coret salah satu

1. Warna biru untuk Kajur
2. Warna kuning untuk Pembimbing I
3. Warna merah untuk Pembimbing II
4. Warna putih untuk mahasiswa

Cc. : Sarjito, Ph.D
Lektor Kepala

MOTTO

“Kita Bukan Apa Yang Kita Katakan, Tapi Apa Yang Kita Kerjakan”

-Adnan Arif Faishal-

“Hidup Bukan Hanya Tentang Uang Dan Kekuasaan”

-Budi Rochadi-

“Jadilah Sampah Yang Bermanfaat Daripada Jadi Pejabat Yang Serakah”

-Hari Bowo-

*“Sejauh Apapun Kamu Berkelana, Sehebat Apapun Kamu Berkarya,
Kamu Tetaplah Malaikat Kecil Bunda”*

-Pahlawan yang tak mau disebut berjasa, IBUNDA-

PERSEMBAHAN

Puji syukur Alhamdulillah, hamba panjatkan atas rahmat, karunia dan keridhaan Allah SWT yang menggenggam dan memiliki seluruh jiwa ini. Berkat ilmu yang Ia berikan kepada penulis dan campur tangan-Nyalah karya sederhana ini dapat terselesaikan dengan baik. Dengan rasa syukur karya ini penulis persembahkan untuk :

- ❖ Ibunda tercinta Etty Viveria C. Bakti Rochayati serta ayah tercinta Sapto Winarno yang telah mendidik dengan penuh kasih sayang, Terima kasih atas segala yang telah kalian berikan. Saat ini hanya beberapa karya serta do'alah yang mampu aku berikan pada kalian sebagai balasan atas apa yang telah kalian berikan kepada ku.
- ❖ Adik-adikku tersayang Afif Faruq Etwin Raharjo dan Zahra Faras Etwina Qhoiriah terimakasih atas doa dan semangatnya
- ❖ Sang mentari yang selalu cerewet dipagi hari AMD, terima kasih senyum dan semangatnya
- ❖ Bapak Bambang Waluyo F, ST., MT selaku kepala laboratorium CAD/CAM/CATIA terimakasih untuk kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menimba ilmu selama menjadi *asisten trainer*.
- ❖ Sahabat dan teman perjuangan Doni, Ekno, Punto, Endri terima kasih atas *support* dan kerja samanya selama penelitian.
- ❖ Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2011, terutama teman-teman dari pesisir gumpang Toriq, Maret, Andy, Agus, Shobar, Abdul, serta teman-teman lain yang tidak bisa disebut kan satu persatu terima

kasih atas bantuan dan dukungannya selama menempuh masa perkuliahan.yang selalu memberikan pelajaran berharga yang tidak bisa dinilai dengan materi, sehingga penulis bisa sampai pada titik ini.

- ❖ Teman-teman alumni SMA N Kebakkramat, dan SMP 1 Kebakkramat, terima kasih atas dorongan dan motivasinya.
- ❖ LPM CAMPUS, Keluarga Mahasiswa Teknik Mesin (KMTM) UMS, dan LAB CAD/CAM/CATIA sebagai tempat bagi penulis menimba pengalaman selama masa perkuliahan.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia- Nya yang telah terlimpahkan kepada penulis, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Adapun Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan Sidang Sarjana S-1 pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini, penulis dengan penuh keikhlasan hati ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. H. Sri Sunarjono MT. Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
2. Bapak Tri Widodo BR. ST. MSc., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
3. Bapak Nur Aklis , ST., M.Eng selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin yang membantu dalam proses-proses administrasi selama masa perkuliahan
4. Bapak Marwan Effendy , ST., MT., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing utama yang telah membimbing, mengarahkan, memberi petunjuk dalam penyusunan Tugas Akhir ini

5. Bapak Ir. Sarjito, MT., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing pendamping yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan arahannya.
6. Bapak Ir. Masyrukan, MT. selaku Pembimbing Akademik.
7. Jajaran staf dan dosen Teknik Mesin universitas muhammadiyah Surakarta

Akhir kata, penulis mohon maaf, jika sekiranya terdapat kesalahan dan kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, yang disebabkan adanya keterbatasan-keterbatasan antara lain waktu, dana, literatur yang ada, dan pengetahuan yang penulis miliki. Harapan penulis semoga laporan ini bermanfaat untuk pembaca.

Tugas Akhir ini semoga dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan pihak lain yang membutuhkan, Amin ya Robbaallamin.

Surakarta, Januari 2016



Penulis

KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN *PIN FIN COOLING* SUSUNAN SEGARIS PADA *TRAILING EDGE* SUDU TURBIN GAS

Adnan Arif Faishal, Marwan Effendy, Sarjito

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A.Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura.

Email : adnan.arif693@gmail.com

ABSTRAKSI

Penelitian dengan metode CFD ini membahas mengenai sistem pendingin pada turbin gas, model eksperimen terdiri dari tujuh barispin fin dengan susunan segaris. Simulasi dibagi dalam dua tipe, yaitu *warm test* dan *cold test*, *warm test* dilakukan pada kondisi isothermal dan digunakan untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas, sedangkan *cold test* dilakukan dengan kondisi adiabatik digunakan untuk mengetahui faktor gesekan.

Penelitian dibagi menjadi dua tahap. Tahap pertama merupakan tahap validasi, dimana pada tahapan ini disimulasikan pin fin dengan konfigurasi selang-seling berdasarkan penelitian terdahulu. Tiga tipe *mesh* masing masing *mesh A* ($\Delta y^+ = 11.83$) *mesh B* ($\Delta y^+ = 4.53058$) dan *mesh C* ($\Delta y^+ = 1.23$), akan disimulasikan dan hasilnya dibandingkan. Pada tahap kedua *mesh* dengan tingkat kesalahan terendah akan digunakan pada pengujian dengan konfigurasi pin fin segaris. Pada dua tahapan percobaan tersebut digunakan persamaan $k-\epsilon$ sebagai *turbulence model*

Hasil penelitian menunjukkan *mesh C* yang memiliki $\Delta y^+ = 1.23$ menghasilkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian terdahulu yang memiliki konfigurasi selang-seling, sehingga *mesh C* akan digunakan pada pengujian pin berkonfigurasi segaris. Jika konfigurasi segaris dan selang-seling dibandingkan, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi pin fin selang-seling memiliki nilai koefisien perpindahan panas dan penurunan tekanan yang lebih besar dari pada pin fin berkonfigurasi segaris. Besarnya nilai penurunan tekanan pada kedua konfigurasi menunjukkan tren kenaikan ketika angka Reynolds meningkat, sedangkan nilai koefisien perpindahan panas mengalami fluktuasi pada tiap susunan pin fin, hal ini terjadi karena luas penampang perpindahan panas dan angka Reynolds yang memiliki nilai beragam.

Kata Kunci : ***Computational Fluid Dynamics; Pin-fin Cooling; Koefisien perpindahan panas.***

A CFD PREDICTION OF “HEAT TRANSFER COEFFICIENT AND PRESSURE LOSS” OF THE INLINE PIN-FINS COOLING OF GAS TURBINE BLADE

Adnan Arif Faishal, Marwan Effendy, Sarjito

Department of Mechanical Engineering, Universitas Muhammadiyah
Surakarta

Jl. A.Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura.

Email : adnan.arif693@gmail.com

ABSTRACT

This CFD study presents the performance evaluation of a blade cooling passage. An experimental model with seven-row of inline circular pin-fins is chosen in this study. Simulations consider two types; i.e. ‘warm’ test with isothermal wall condition and ‘cold’ test with adiabatic wall condition respectively, in order to evaluate flow and thermal characteristics such as heat transfer coefficient (HTC) and friction factor (f).

The steady RANS with k-epsilon turbulence model was carried out by two-stages investigating: firstly, validation of an existing circular staggered array of pin-fin cooling that has been experimentally studied by other researcher. Three types structured mesh from coarse ($\Delta y^+ = 11.83$) to fine ($\Delta y^+ = 1.23$) were applied for validation. Secondly, further investigation of the circular pin-fin cooling with in-line array was simulated by adopting the same scenario of mesh generation based on the optimum result from validation stage. Simulations were performed by keeping the same initials and boundary conditions as experiment, and varying Reynolds number between 9.000 and 36.000.

The result indicates that the CFD predicted data can be considered acceptable by generating mesh up to 1.6 million elements with fine resolution ($\Delta y^+ = 1.23$). The CFD predicted HTC and pressure loss are in good agreement with available experimental data, though over-prediction data is clearly seen after the second pin-fin row for warm simulation. By comparing the pin-fin array between “staggered” and “in-line”, it was found that the HTC of staggered array is higher than the in-line orientation. It is due to the staggered layout causes to intensify the coolant flow around the pin-fin. The HTC of pin-fins surface increases moderately along the cooling passage due to the increase of flow turbulence that caused by contraction channel and increasing Reynolds number. Whilst, the friction factor decreases gradually along the cooling passage.

Key words : Pin-fin cooling; Computational fluid dynamics; Heat transfer coefficient

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Pernyataan Keaslian Skripsi	ii
Halaman Persetujuan	iii
Halaman Pengesahan	iv
Lembar Soal Tugas Akhir	v
Halaman Motto.....	vi
Halaman Persembahan	vii
Kata Pengantar	ix
Abstraksi.....	xi
Daftar Isi	xiii
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka.....	6
2.2 Dasar Teori.....	9
2.2.1 <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	9
2.2.2 Pemodelan Aliran Menggunakan k- ϵ	10
2.2.3 Pembuatan Grid (<i>meshing</i>)	11
2.2.3 Aliran Laminar dan Turbulen	12
2.2.4 Sistem Pendinginan pada Turbin Gas.....	13
2.2.5 Pin <i>Fin Cooling</i> pada Trailing Edges Sudu Turbin Gas .	16
2.2.6 Angka Reynolds	17
2.2.7 Penurunan Tekanan.....	17
2.2.8 Perpindahan panas	18
2.2.8.1 Perpindahan Panas Konduksi	18
2.2.8.2 Perpindahan Panas Radiasi.....	19
2.2.8.3 Perpindahan Panas Konveksi	20

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	22
3.2 Desain dan Geometri pin fin Tarchi dkk.....	23
3.3 <i>Meshing</i>	25
3.4 Kondisi Batas(<i>Boundary Condition</i>).....	29
3.5 <i>Calculation</i> dan Analisa Data.....	33
3.6 Tahap Riset dengan Variasi Susunan	37

BAB IV VALIDASI DATA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi Data	39
4.1.1 Validasi data pada pengujian faktor gesek (f)	39
4.1.2 Validasi data pada pengujian koefisien perpindahan panas	40
4.2 Perbandingan Pin Fin Susunan Selang-seling dan Pin Fin Susunan Segaris.....	41
4.2.1. Perbandingan Nilai Penurunan Tekanan (ΔP).....	41
4.3.2. Perbandingan Nilai faktor gesek (f)	42
4.3.3. Perbandingan Nilai koefisien perpindahan panas	45

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	49
5.2. Saran.....	50

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Aliran Laminer dan Turbulen	13
Gambar 2.2.	Sistem pendingin pada sudu turbin gas.....	14
Gambar 2.3.	<i>Convection cooling</i> Sudu Turbin Gas	15
Gambar 2.4.	<i>Impingement cooling</i> pada Sudu Turbin Gas	15
Gambar 2.5.	<i>Film-system</i> Sudu Turbin Gas	16
Gambar 2.6.	<i>Pin-Fin Cooling</i> pada <i>Trailing Edge</i> Sudu Turbin Gas	16
Gambar 2.7.	Perpindahan panas konduksi pada dinding.....	19
Gambar 2.8.	Perpindahan panas radiasi pada dinding	19
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 3.2.	Pin-fin Cooling	23
Gambar 3.3.	Gambar model yang telah disederhanakan berdasarkan percobaan Tarchi (2008).....	24
Gambar 3.4.	Geometri pin-fin cooling pada percobaan Tarchi (2008)	24
Gambar 3.5.	Geometri yang dieksport kedalam gambit	26
Gambar 3.6.	Mesh edge/garis pada gambit	26
Gambar 3.7.	Mesh face dan volume pada gambit.....	27
Gambar 3.8.	Definisi-definisi pada model komputasi	27
Gambar 3.9.	Definisi fluida udara pada model komputasi	28
Gambar 3.10.	Karakteristik tiga tipe mesh	29
Gambar 3.11.	Metode pengambilan data berdasarkan eksperimen Tarchi (2008)	30
Gambar 3.12.	Langkah-langkah simulasi	33
Gambar 3.13.	K- ϵ standar sebagai model persamaan	34
Gambar 3.14.	Propertis udara pada simulasi	34
Gambar 3.15.	Kondisi-kondisi batas.....	35
Gambar 3.16.	<i>Reference values</i> pada Ansys Fluent	35
Gambar 3.17.	Proses <i>Runing</i>	36
Gambar 3.18.	Sistem <i>Convergen</i> pada ansys fluent	36
Gambar 3.19.	<i>Report</i> pada CFD-Post	37
Gambar 3.20.	Dua tipe potongan	38
Gambar 4.1.	Perbandingan Nilai f dan Re hasil simulasi pada tiga tipe mesh	40
Gambar 4.2.	Koefisien perpindahan panas di daerah disekitar pin pada eksperimen tarchi (2008) dan simulasi dengan CFD	41

Gambar 4.3.	Pengaruh angka Reynolds terhadap nilai penurunan tekanan pada pin fin berselang dan segaris	41
Gambar 4.4.	Perbandingan nilai koefisien gesek terhadap angka Reynolds pada pin fin berselang dan segaris	42
Gambar 4.5.	Karakteristik aliran pin fin susunan berselang	44
Gambar 4.6.	Karakteristik aliran pin fin susunan segaris potongan tipe A	44
Gambar 4.7.	Karakteristik aliran pin fin susunan segaris potongan tipe B.....	44
Gambar 4.8.	Koefisien perpindahan panas pada daerah di sekitar pin pada dua jenis konfigurasi	45
Gambar 4.9.	Kecepatan udara pada area disekitar pin fin pada dua jenis konfigurasi	46
Gambar 4.10.	Distribusi koefisien perpindahan panas pin fin susunan berselang	47
Gambar 4.11.	Distribusi koefisien perpindahan panas pada pin fin susunan segaris potongan tipe A.....	48
Gambar 4.12.	Distribusi koefisien perpindahan panas pada pin fin susunan segaris potongan tipe B.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Karakteristik Mesh.	28
Tabel 3.2. Faktor gesekan dan Re_{L0} hasil percobaan Tarchi dkk (2008).....	30
Table 3.3. Nilai koefisien perpindahan panas hasil percobaan Tarchi (2008).....	32

DAFTAR SIMBOL

A	: Luas area (m^2)
A_{min}	: Luas area diantara <i>pin-fin</i> (m^2)
A_{L0}	: Luas area dari inlet saluran udara (m^2)
D	: Diameter pin ellips sumbu minor (m)
D_{L0}	: Diameter hidrolis (m)
f	: Faktor gesekan
h	: Koefisien perpindahan panas ($W/m^2.K$)
\dot{m}	: Laju Aliran massa (kg/s)
P	: Tekanan (Pa)
Q	: Laju perpindahan kalor (W)
Re	: Bilangan Reynolds
Re_{L0}	: Bilangan Reynolds pada inlet
Re_{d7}	: Bilangan Reynolds pada pin-7
S_x	: Jarak antar titik pusat <i>pin-fin</i> terhadap sumbu x (mm)
S_y	: Jarak antar titik pusat <i>pin-fin</i> terhadap sumbu y (mm)
T_{nw}	: Temperatur udara dekat dinding (K)
T_w	: Temperatur pada dinding (K)
ρ	: Massa jenis udara (kg/m^3)
v	: Kecepatan udara (m/s)
μ	: Viskositas dinamik (kg/m.s)
ΔP	: Perbedaan tekanan (Pa)
x	: Arah sepanjang sumbu x